

審査の結果の要旨

氏名 マノーマイサンティパーブ シワット

修士（工学） マノーマイサンティパーブ シワット 提出の論文は **The study of layerwise hybrid laminates for lightning strike applications**（耐雷用ハイブリッド積層板に関する研究）と題し、5章からなっており、英文でまとめられている。

航空宇宙・自動車・エネルギー分野をはじめとして、構造の軽量化の要求に応えるため、複合材構造の適用が拡がりつつある。軽量構造として近年使用実績の高い炭素繊維複合材料（CFRP）は、優れた力学的特性を示す一方、エポキシなどの絶縁性の樹脂と炭素繊維から成るため、金属構造に比べると導電性は劣り、著しい異方性や不均質性を有する。そのため、電磁遮蔽性、耐雷性などの構造物の機能性に関しては、従来の金属構造に比べて劣っている。その対策として、例えば CFRP 構造の耐雷性の確保のためには、金属メッシュなどを表面に貼り付けており、重量的にも製造・メンテナンスコスト的にも課題を抱えている状況である。

上述の課題を解決する方策として、成形性を有する導電性高分子を複合材のマトリックスとして適用することで、樹脂や複合材全体の導電性の向上を実現し、CFRP の耐雷性を確保することが試みられてきた。しかしながら、導電性樹脂を用いた CFRP は、従来の CFRP に比べて強度特性に劣り、実構造への適用を促進するためにも力学的特性と導電性・耐雷性の両立可能な複合材構造の実現が求められている状況である。本研究は、高い耐雷性を示す導電性高分子を用いた CFRP を、力学的特性に優れる従来のエポキシ系 CFRP と一緒に積層した積層型ハイブリッド複合材構造を用いることで、耐雷性を確保した複合材構造の開発を行っている。従来の CFRP の一部を導電性 CFRP に置き換えることで、力学的特性と耐雷性の両立を図り、金属メッシュを不要とする重量的にデメリットのない構造を提案・実証する内容であり、実構造への適用を見据えた研究成果を示している点が特徴である。

第1章では、航空機などの複合材構造部材の高機能化が求められている現状を報告し、従来の複合材構造の耐雷性能確保のための対策や、複合材の耐雷性向上のための近年の研究状況をまとめている。導電性樹脂を用いた CFRP の開発状況についても触れ、エポキシ系 CFRP と導電性樹脂を用いた CFRP の各特性をまとめたうえで、両者の積層型ハイブリッド複合材構造を提案し、本研究の意義・動機を明確にするとともに、論文構成を説明し

ている。

第2章では、エポキシ系 CFRP と導電性樹脂を用いた CFRP の成形プロセスについてまとめ、積層型ハイブリッド複合材構造を実現するための製作手順の検討を行っている。製作手順の違いにより、樹脂の硬化特性や導電性が異なることを示し、エポキシ系 CFRP と導電性樹脂を用いた CFRP の予硬化後に両者を接合・後硬化するプロセスを採用することで優れた特性が得られることを明らかにした。

第3章では、第2章で選定した製作手順により積層型ハイブリッド複合材を製作し、力学的特性の評価を行った結果をまとめている。エポキシ系 CFRP と導電性樹脂を用いた CFRP の接合面の強度や層間破壊靱性を評価し、接合面の特性はエポキシ系 CFRP の特性には劣るが、導電性樹脂を用いた CFRP よりも優れた特性であることを示した。接合面での破壊は生じにくいこと、積層型ハイブリッド構造とすることによる強度低下は起こらないことを確認した。

第4章では、エポキシ系 CFRP と導電性樹脂を用いた CFRP の積層割合を変化させて積層型ハイブリッド複合材を製作し、雷撃試験を行うことで、エポキシ系 CFRP の耐雷性能向上のために必要な導電性樹脂を用いた CFRP の層数についての検討を実施している。2層以上の導電性樹脂を用いた CFRP により、雷撃時の効率的な電流拡散が生じ、ジュール加熱に伴う樹脂損傷や層間剥離が低減されることを明らかにした。また、雷撃後の残留強度評価結果からも耐雷性を評価し、提案する積層型ハイブリッド複合材は高い耐雷性を有することを示した。従来の CFRP の一部を導電性 CFRP に置き換える、積層型ハイブリッド複合材は、力学的特性と耐雷性を確保可能であることを実験的に実証した。

第5章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめ、導電性樹脂を用いた CFRP を利用した積層型ハイブリッド複合材構造の製造プロセスと性能をまとめるとともに、今後の課題と展望を述べている。

以上要するに、本論文は、複合材構造の耐雷性向上手法として、高い耐雷性を示す導電性高分子を用いた CFRP を、力学的特性に優れる従来のエポキシ系 CFRP に積層する積層型ハイブリッド複合材構造を提案し、製造手法の検討や耐雷性能を評価することで耐雷複合材構造を実証し、新たな機能構造システムの設計方針や実現の道筋を示している点で、航空宇宙工学、及び複合材料工学上貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。